

# ヒップホップダンスにおけるボックスステップの 身体知獲得支援アプリケーションの開発

Development of an application to support the acquisition  
of body knowledge of the box step in hip-hop dance

頼定優花<sup>1</sup> 和多田雅哉<sup>1,2</sup> 高橋玄宇<sup>2</sup>  
高橋うらら<sup>2</sup> 椿原徹也<sup>2</sup> 山田盛朗<sup>2</sup>

Yuka Yorisada<sup>1</sup>, Masaya Watada<sup>1,2</sup>, Genu Takahashi<sup>2</sup>  
Urara Takahashi<sup>2</sup>, Tetsuya Tsubakihara<sup>2</sup>, Moriro Yamada<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京都市大学大学院総合理工学研究科

Graduate School of Integrative Science and Engineering, Tokyo City University

<sup>2</sup> 東京都市大学

Tokyo City University

**Abstract:** In Japan, the percentage of both men and women who have an exercise habit is stagnant at about 25%. To solve this problem, we aim to develop an application to support the acquisition of physical knowledge of dance steps. In this study, we used the skeletal structure, center of gravity, and sensation as three evaluation indices, and based on these indices, we studied the specifications of the application.

## 1 緒言

日本における危険因子に起因する死因第3位は運動不足であり、生活習慣病や精神疾患を招く[1]。厚生労働省は健康寿命延伸のための運動習慣づけを推奨しているが、運動習慣のある者は男女共に25%程度と低迷している。運動をしない理由として苦手・人に見られたくない・怪我の恐れなどが挙げられている[2]。しかし、これらは運動におけるコツや勘を指す身体知を身につけることにより、解決が可能になる。以上より、他者への伝達が困難とされている身体知を、伝達が容易とされている形式知にすることで、他者へ正しいフォームや高度な技術を伝達する、身体知獲得支援アプリケーションの開発を目指す。

適度な運動により健康の促進が可能であるが、運動中に怪我をしては本末転倒である。怪我を防止するには、正しいフォームを効率的に他者へ伝達する必要がある。しかし、正しいフォームは身体知に基づいているが故に、効率的に他者へ伝達出来ない現状がある。効率的に伝達するために、身体知を形式知化することで解決が可能になると考えた。身体知は可視化出来ない存在であるため、身体知の形式知化の成否および身体知獲得の能否が判断出来ない。

よって、骨格・重心および感覚を数値化・言語化することで可視化を図る。以上より、本研究では被験者が対象動作を行った際の骨格・重心および感覚を分析し、身体知獲得支援アプリケーション開発を行った。本稿では、開発するアプリケーション、対象動作、評価指標、実験方法、アプリケーション実装、アプリケーション評価について述べる。

## 2 身体知と形式知

身体知とは、コツや勘などの言葉では表現し難い身体の動作、もしくは長年の経験で培った感覚に基づく知識を指す。現段階で解明されていない部分が多く存在していることから、暗黙知とも呼ばれる。また、人工知能領域、スポーツ科学領域において、身体知は「感覚・運動系、脳神経系、筋骨格系を総動員した訓練によって、身体が覚えた高度な技やコツ」と定義されている[3]。身体知と対義的な知識に形式知があり、客観的かつ定量的であるため、言語知とも呼ばれる。そこで、本研究の目標は身体知を形式知化することである。本研究における身体知も上記の定義とする。

身体知を獲得する過程は3つの段階に分類することが出来る[4]。図1に運動学習の過程を示す。

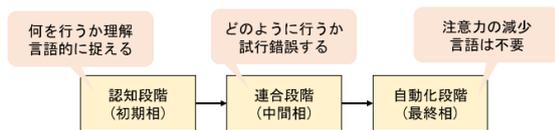


図1 運動学習の過程

図1より、はじめの認知段階(初期相)は、どのような動作をするべきなのか、言語的に捉える段階である。次の連合段階(中間相)は、どのように行うか、自身の身体を動かしながら試行錯誤する段階である。最後の自動化段階(最終相)は、認知段階における言語は不要となり、無意識に動作を行うことが出来る段階であり、身体知を獲得したと言える段階である。なお、各段階は連続的であり、明確な境界は見られない。

### 3 開発するアプリケーション

本研究では、身体知と呼ばれるコツや勘の獲得を支援することにより、怪我をさせずに技術を向上させるアプリケーションの開発を目指す。図2に身体知獲得支援アプリケーションの完成イメージを示す。



図2 身体知獲得支援アプリケーションの完成イメージ

図2より、お手本動作とアプリケーション利用者の動作を同時に表示する。また、アプリケーション利用者の動作においてお手本動作と異なる箇所のみ色を変えて表示する。お手本動作はプロダンサー2名の動作を選択可能な仕様にする。一致度および身体知獲得度の算出方法については7章3節および4節で述べる。

### 4 対象動作

本研究では、ボックスステップを選定した。ボックスステップとは、ヒップホップダンスにおける基礎のステップの一つである。図3にボックスステップの図解を示す。

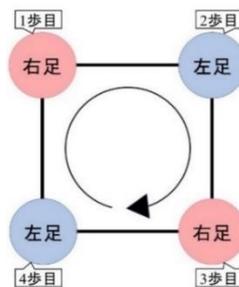


図3 ボックスステップの図解(時計回りの場合)

また、ボックスステップの要点を下記に示す。

- ①正方形を描くように足踏みをする
- ②足の軌道を最短距離にする
- ③ステップを踏む方向に重心を乗せる
- ④アップ・ダウンの基礎を同時に行う  
ステップを踏むと同時に
  - ④-1 首を前に出す
  - ④-2 膝を軽く屈伸する
  - ④-3 胸を入れる
  - ④-4 腕を曲げる
  - ④-5 上記に緩急をつける

図3より、ボックスステップはリズムに合わせて四角形を描くように足踏みをすることが特徴である。要点において、身体知を強制的に言語化しているため、曖昧な表現が存在する。ボックスステップの技術の向上には、アップ・ダウンや腕の動き、胸や首のアイソレーションなど複数の動作を同時に行うコーディネーション能力を要する。アップ・ダウンとは、一定のリズムで膝を屈伸する、ダンスにおける最も基礎的なリズム取りを指す。

## 5 計測機器および評価指標

### 5.1 骨格・重心

表1に骨格・重心の計測機器と評価指標を示す。

表1 骨格・重心の計測機器と評価指標

	骨格	重心
計測機器	Azure Kinect DK	重心動揺計
座標	足の位置, 軌道[mm]	ステップ毎の重心位置[mm]
	各関節の屈曲角度[deg]	
加速度	各関節動作の緩急[mm/s <sup>2</sup> ]	重心の緩急[mm/s <sup>2</sup> ]

表 1 より，骨格の計測に Kinect を，重心の計測に金属板とロードセルを用いて作製した重心動揺計を使用した。

## 5.2 感覚

感覚は，6 章で述べる自由記述式の事後アンケートで収集した言語データをテキストマイニングなどにより評価することで形式知化を図る。

## 6 アプリケーション開発のための実験方法

アプリケーションの開発にあたり，初心者から上級者における基礎力・運動経験・ボックスステップ動作時の骨格・重心および感覚のデータを収集し，それぞれの傾向を見出す必要がある。本研究ではダンス未経験者 3 名(A~C)，経験者 8 名(D~K)，プロダンサー 2 名(L・M)の計 13 名のデータを収集した。また，プロ L・経験者 D，プロ M・未経験者 C の 2 組は同時に実験を実施した。図 4 に実験手順および所要時間の目安，図 5 に 2 組のボックスステップ計測フローを示す。

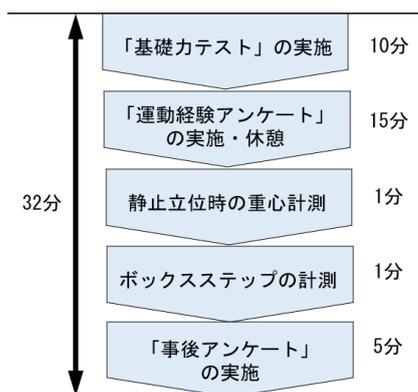


図 4 実験手順および所要時間の目安

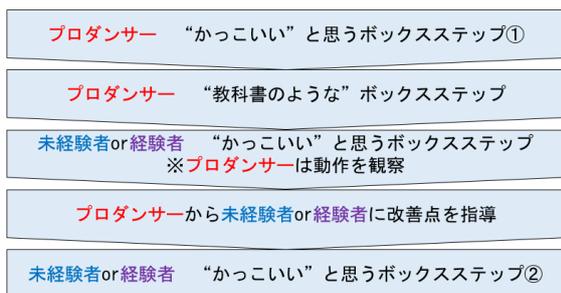


図 5 2 組のボックスステップ計測フロー

図 4 の事後アンケートについて，被験者がステップを行った際の感覚などを問う自由記述式のアンケートを行った。表 2 に事後アンケートの設問内容を示す。

表 2 事後アンケートの設問内容

未経験者 経験者	プロ
ボックスステップを行った際の意識した点	
ボックスステップを行った際の感想	
	未経験者へのボックスステップの教え方
	経験者へのボックスステップの教え方
	上手だと思うボックスステップの特徴

## 7 アプリケーション実装

本アプリケーションの開発にはユニティ・テクノロジー社が開発・提供している Unity を用いた。また，スクリプト言語は C# である。図 6 に開発したアプリケーションの画面を示す。

Embodied Knowledge Score: 37.61%  
Accuracy: 21.48%  
Sharpness: 48.68%  
Consistency: 61.32%  
Rhythm Stability: 0.00%

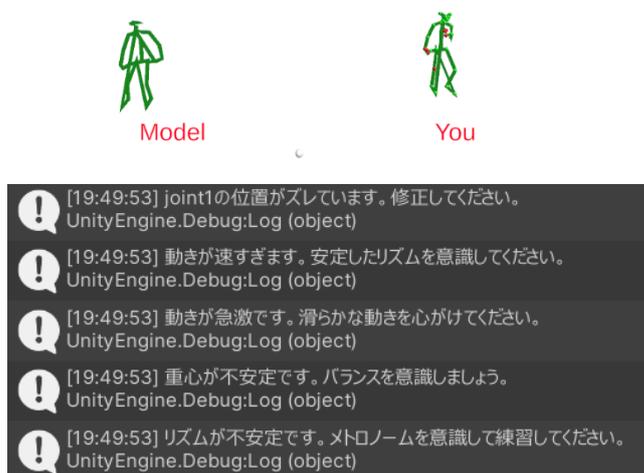


図 6 開発したアプリケーションの画面

各機能の実装について 7 章 1 節～5 節に述べる。

## 7.1 機能① 動作表示

本機能では、画面上にお手本動作と利用者の動作を骨格モデルで同時に表示することで、利用者がお手本動作と自身の動作を見比べて、改善を目指すよう誘導することを目的としている。お手本動作について、従来はプロ2名の動作を基に1つの動作モデルを作製することを検討していた。しかし、プロ2名のメインジャンルがそれぞれ異なるため、ボックスステップのシルエットに大きな差が見られた。そこで、プロM・Lそれぞれの通常のステップ・教科書のようなステップの計4通りの動作から目標の動作をアプリケーション利用者が選択可能な仕様とした。

## 7.2 機能② 動作色分け

本機能では、利用者の動作のうちお手本と異なる動作をしている部位を別の色で表示することで、機能①よりも改善点を明確にすることを目的としている。

## 7.3 機能③-1 動作一致度の算出

本機能では、お手本動作と利用者の動作の一致度を画面上に表示することで、利用者がどの程度お手本動作に近づけているかを定量的に知ることが出来、モチベーションの向上に繋がることを期待している。

## 7.4 機能③-2 身体知獲得度の算出

本機能では、本研究独自の手法で身体知獲得度を算出することで、これまで定量化が困難であった身体知の形式知化を目指す。また、アプリケーションの画面上に表示することで、利用者自身が効率的に技術を習得すること、モチベーション向上に繋がることを期待している。

### 7.4.1 Sharpness : 動作の緩急

奈良女子大学の牧田らの研究において、表現動作における動作の緩急が鑑賞者の印象形成に影響を与えるということが示されている[5]。よって、動作の緩急が身体知獲得度を構成する要素として相応しいと考えた。本要素で評価対象となる関節は、ボックスステップの要点より、緩急をつけるべき関節として股関節・右手・左足を選出した。また、動作の緩急を関節の加速度平均と最大加速度を足した値と定義した。

### 7.4.2 Consistency : 動作の一貫性

身体知の獲得過程における連合段階では、動作をどのように行うか試行錯誤する。すなわち、身体知を獲得出来ていない段階では、動作を試行するたびにばらつきが生じると考え、動作の一貫性が身体知獲得度を構成する要素として相応しいと考えた。そこで、ボックスステップ時の骨盤の円運動のばらつきから周回毎の動作の安定性を評価する仕様とし、動作の一貫性を骨盤の円運動の標準偏差の平均と定義した。

動作の一貫性の算出式を式1~4に示す。

(c : 骨盤の円運動の中心, r=平均半径)

$$c = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \right) \quad (1)$$

$$r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|p_i - c\| \quad (2)$$

$$\text{Mean Deviation} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \| \|p_i - c\| - r \| \quad (3)$$

$$\text{Consistency} = \frac{100}{1 + \text{Mean Deviation}} \quad (4)$$

### 7.4.3 Rhythm Stability リズムの安定性

電気通信大学の上原らの研究において、ダンスのような音楽を伴う身体表現における音楽と身体運動の同期性は演技の印象に大きな影響を与えると述べられている[6]。よって、リズムの安定性が身体知獲得度を構成する要素として相応しいと考えた。本要素の評価対象となる関節として、ボックスステップはリズムに合わせて足踏みをすることから、右足・左足を選出した。また、リズムの安定性をタイミングのズレの逆数と定義した。

リズムの安定性の算出式を式5~7に示す。

$$\text{Foot Movement Distance} = |\text{Next Position} - \text{Current Position}| \quad (5)$$

Foot Movement Distance < 0.05  
となるタイミングを静止タイミングと定義

$$\text{Timing Deviation} = |\text{Stationary Timing mod Metronome Cycle}| \quad (6)$$

$$\text{Rhythm Stability Score} = \frac{100}{1 + \sigma_{\text{Timing Deviation}}} \quad (7)$$

### 7.5 機能④ アドバイス

本機能では、身体知獲得度向上のためのアドバイスを利用者に提供することで、怪我やスランプの発生を防止しながら効率的な技術習得を促すことを目的としている。昨今のダンス習得支援アプリケーションにおいては、動作改善のためのアドバイスを提供しているものも存在するが、利用者の習熟度に依存しないアドバイスを提供するのが散見される。実際のダンス指導現場においては、初心者と上級者それぞれに別の指導を行っているため、本アプリケーションにおいても習熟度に合ったアドバイスを提供する必要があったと考えた。ワードクラウドを用いて意識した点の分析を行った際、ダンス初心者は具体的な言葉、上級者は抽象的な言葉を用いる傾向があった。そこで、7章4節で述べた身体知獲得度の値からアプリケーション利用者の習熟度を判定し、習熟度に合ったアドバイスを提供する仕組みを作成した。

この時、各要素(一致度・緩急・一貫性・リズムの安定性)が理想値から閾値以上に離れている場合にアドバイスを生成する。生成するアドバイスは、身体知獲得度が50%を超える場合は上級者向け、50%未満の場合は初心者向けのアドバイスを表示するといった仕組みである。

## 8 アプリケーションの評価

表3に各機能の有用性と課題を示す。

表3 各機能の有用性と課題

機能	有用性	課題
①	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆視覚的理解向上</li> <li>◆動作改善精度向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆手-腰が繋がって描画されてしまう</li> <li>◆お手本動作に関節球が表示されない</li> <li>◆動作間隔が遠い</li> </ul>
②	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆改善を要する部位を直感的に理解可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆お手本動作の色が変化してしまう</li> <li>◆立ち位置正規化が未適用</li> </ul>
③-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆一致度の定量化が可能</li> <li>◆動作改善の進捗を信頼性の高い指標で提示可能</li> </ul>	
③-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ダンス歴との相関あり</li> <li>◆身体知の形式知化に近づいた可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆動作の一貫性・リズムの安定性の値が推移しない</li> <li>◆被験者数不足により評価の信ぴょう性に欠ける</li> </ul>
④	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆動作データに基づいたアドバイスを提供可能</li> <li>◆利用者の習熟度に合ったアドバイス提供が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆コンソールに表示される</li> <li>◆各要素距離の閾値設定が未完了</li> <li>◆アドバイスのバリエーション不足</li> </ul>

表3より、機能③-2の身体知獲得度について、動作の一貫性とリズムの安定性の値が推移しないという問題が発生しており、修正が困難な状況となっている。しかし、利用者の動作データによって動作の一貫性とリズムの安定性の値が異なっているため、値そのものは正しく算出されていると判断した。

被験者のデータにより算出された身体知獲得度とダンス歴の相関を算出することで身体知獲得度の評価を行った。

図7に身体知獲得度とダンス歴の相関(お手本動作：プロL)、図8に身体知獲得度とダンス歴の相関(お手本動作：プロM)を示す。

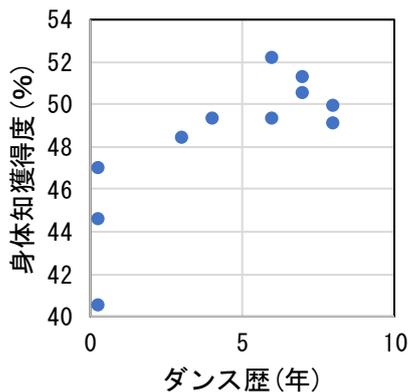


図7 身体知獲得度とダンス歴の相関  
(お手本動作：プロ L) (r=0.79)

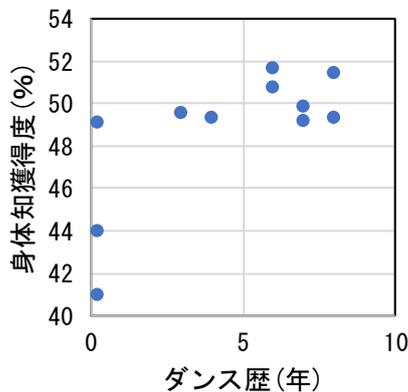


図8 身体知獲得度とダンス歴の相関  
(お手本動作：プロ M) (r=0.72)

図7,8より、お手本動作にプロ Lをセットした場合も、プロ Mをセットした場合も正の相関が見られた。一般的にダンス歴が長い程身体知を獲得していると判断出来るため、身体知の形式知化が出来る可能性が高いと判断した。しかし、本研究における被験者のダンス歴にやや偏りが見られる点から、より被験者を増やし再度相関係数を算出することで身体知獲得度の信ぴょう性が高まると考えた。

本アプリケーションは、身体知の形式知化および身体知獲得を支援するアプリケーションとして、動作比較、動作一致度および身体知獲得度の算出、習熟度に合ったアドバイス提供など、独自の機能を有している。これらの機能により、初心者から上級者まで幅広いユーザー層が高効率でボックスステップの学習出来る点が評価出来ると考えた。特に、動作

の視覚的フィードバックと定量的評価を組み合わせることで、学習効果の客観的な把握が可能であり、習得過程における改善点の特定と解決を促進している。また、身体知獲得度の算出において、ダンス歴との正の相関が見られた点は、アプリケーションの信頼性を裏付ける結果になったと言える。

一方で、技術的な不具合が発生している点、UIの質が低い点、収集データの不足が課題として残っている。これらの課題を解決することで、より高い実用性と信頼性を持つアプリケーションへと成長出来るのではないかと考えた。

## 9 結言

本稿では、開発するアプリケーション、対象動作、評価指標、実験方法、アプリケーション実装、アプリケーション評価について述べた。

本アプリケーションの課題として、技術的な不具合が発生している点、UIの質が低い点、収集データの不足が挙げられる。また、初心者から上級者の幅広い層が利用しやすくするための評価精度の仕様検討は行ったが、実際にアプリケーションの仕様へ反映するには至らなかった。これらの課題を解決することで、より高い実用性と信頼性を持つアプリケーションへと成長出来るのではないかと考えた。また、実際にアプリケーションをリリースすることで膨大なデータ数を確保出来るかつアプリケーションに対するフィードバックを受けられること、深層学習を取り入れることでより信頼性の高い値やアドバイスを提供出来ることが期待される。これらを実現することにより、より社会的意義のあるアプリケーションへと成長出来ると思った。

将来的には本アプリケーションの提供により、ダンスの現場に留まらず、学校などの教育現場や病院やリハビリテーションのような医療現場、伝統工芸や伝統芸能の現場などの諸問題の解決に貢献したい。

本研究は、東京都市大学「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会の審査承認(2023-h11)を得て実施した。

## 参考文献

- [1] Ikeda Nayu, "Adult Mortality Attributable to Preventable Risk Factors for Non-Communicable Diseases and Injuries in Japan: A Comparative Risk Assessment", PROS MEDICINE, pp.8, 2012.1
- [2] スポーツ庁健康スポーツ課, スポーツの実施状況等に関する世論調査, p.37, 2016.11

- [3] 人工知能学会, ” 身体知研究の潮流-身体知の解明に向けて-”, 人工知能学会誌, p118, 2005
- [4] 嘉戸直樹, ” 運動学習はここまでわかった”, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jkpt/8/0/8\\_0\\_49/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jkpt/8/0/8_0_49/_pdf), 2008
- [5] 牧田優, ” 表現動作における動きの緩急が印象形成に及ぼす影響”, 日本体育・スポーツ・健康学会, p.57
- [6] 上原僚, ” ストリートダンスにおける身体運動とビートの時間的關係性 ”, 電気情報通信学会, p.33